

ПАСИВНІ АВТОБАЛАНСИРИ З ТВЕРДИМИ КОРИГУВАЛЬНИМИ ВАНТАЖАМИ

Розглянуті коригувальні вантажі і відповідні конструкції так званих класичних і нових неklasичних пасивних автобалансирів, призначених для зрівноваження роторів на ходу в процесі експлуатації. Показано, що конструкції пристроїв об'єднують те, що коригувальні вантажі в них рухаються, певним чином, навколо точки на поєздовжній осі вала ротора. За видами рухів коригувальних вантажів запропоновано класифікувати дані пристрої. Розглянуті переваги і недоліки різних конструкцій.

Введення. Для зрівноважування на ходу роторів, що швидко обертаються, застосовуються пасивні автобалансири (ПАБ) із твердими коригувальними вантажами (КВ), такі як маятникові, кільцеві, кульові і т.д. [1]. В них КВ з часом самі приходять в положення, в якому зрівноважують ротор і обертаються з ним як одне ціле, поки не почне змінюватися дисбаланс, швидкість обертання ротора, чи не з'являться збурення різного походження. За наявними матеріалами історія балансувальної техніки почалася сто тридцять років тому, а саме 26 березня 1872 року німецький інженер Альберт Феска (Albert Fesca) із Берліну одержав патент США № 125036 на кільцевий ПАБ, призначений для зрівноваження вертикально розташованої центрифуги, призначеної для осушення цукру [2]. Він запропонував вільно насаджувати на її вал два і більше кільця, більшого за вал внутрішнього діаметра.

Робота ПАБ основана на явищі самоцентрування, при якому на зарезонансних швидкостях обертання ротора головна центральна вісь ротора прямує до осі обертання, причому тим більше, чим вище кутова швидкість обертання ротора. На рис. 1, а зображений випадок статичного дисбалансу.

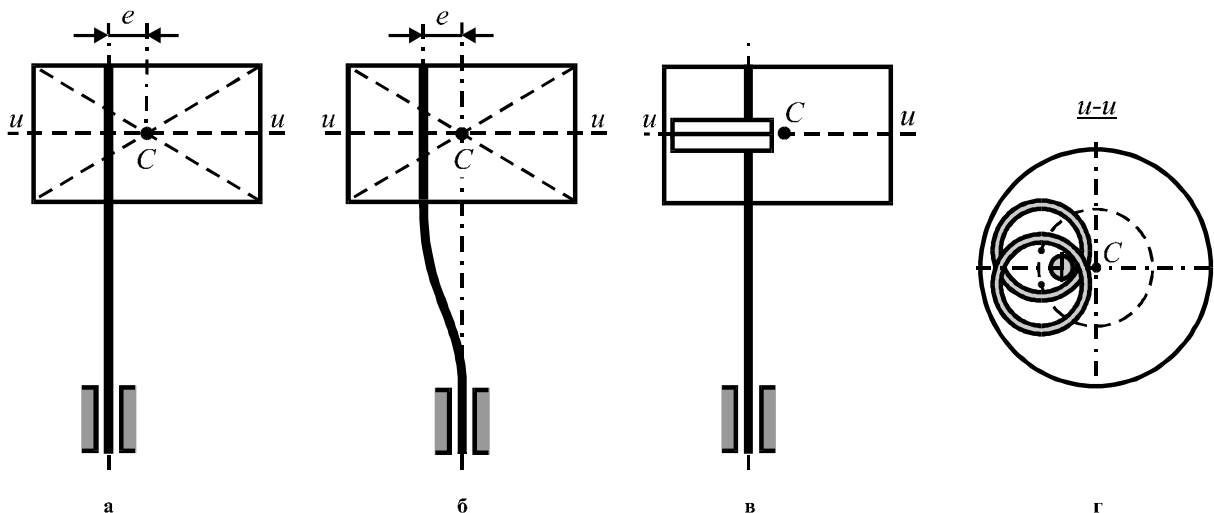


Рис. 1 Явище самоцентрування і кільцевий ПАБ Феска.

На закритичних швидкостях вал ротора переміщується відносно осі обертання у легкий бік ротора - рис. 1, б. Якщо на вал насадити два кільця, то вони дещо відхиляться у цей бік і будуть зрівноважувати ротор у площині корекції $u-u$, як це показано на рис. 1, в, г.

В [3, 4] узагальнено явище автобалансування і показано, що ПАБ з твердими КВ є пристроями, у яких КВ в різних усталених рухах переміщуються певним способом відносно точки на осі вала ротора (положення КВ в одному будь-якому усталеному русі можуть бути одержані із положення КВ в будь-якому іншому усталеному русі шляхом повороту навколо точки на осі вала ротора). В цієї роботі пропонується класифікувати різні типи ПАБ по виду руху КВ відносно ротора, розглядаються ці типи, оцінюються переваги і недоліки різних конструкцій.

1. ПАБ з КВ, які в усталених рухах повертаються навколо осі вала ротора, або класичні автобалансири.

Такі типи ПАБ виникли першими, знайшли широке застосування у техніці, і тому пропонується називати їх класичними. На рис. 2 зображені різні КВ, що використовуються в класичних ПАБ, а на рис. 3 - відповідні типи пристроїв.

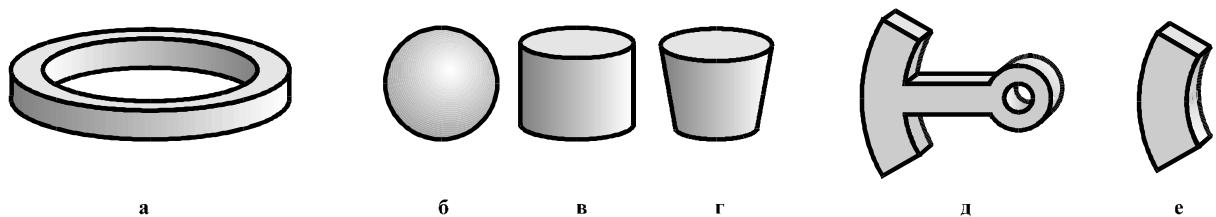


Рис. 2 Класичні коригувальні вантажі: а - кільце; б - куля; в - циліндричний ролик; г - конічний ролик; е - маятник; д - сегмент.

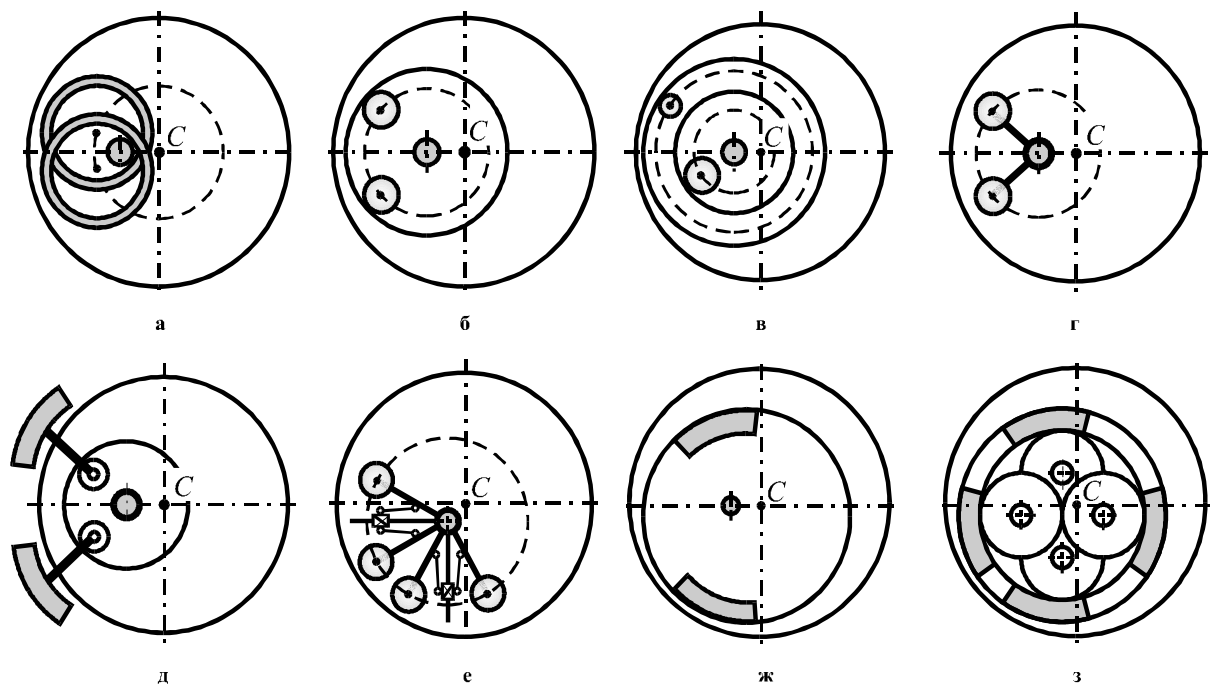


Рис. 3 ПАБ з КВ, які в усталених рухах повертаються навколо осі вала ротора, або класичні автобалансири: а - кільцевий; б - однорядний кульовий (роликовий); в - багаторядний кульовий (роликовий); г - маятниковий з маятниками на валу ротора; д - маятниковий з маятниками на катках; е - маятниковий з в'язями; ж - сегментний; з - сегментний з в'язями.

Слід зазначити, що в класичних ПАБ основною ознакою, яка характеризує тип пристрою, є вид КГ, що використовується. Один пристрій здатний зрівноважити статичний дисбаланс ротора у одній площині корекції, а два таких пристрої здатні зрівноважити повний дисбаланс ротора у двох площинах корекції.

Недоліком класичних ПАБ є те, що навіть при зрівноваженому роторі КВ діють на вал, ротор, чи бігову доріжку із значними силами, тому що знаходяться на відстані від осі обертання (рис. 4, а, б). Тому, наприклад, в кульовому ПАБ кільцева бігова доріжка перетворюється на еліптичну, точка контакту кулі і доріжки у пляму контакту і т.д. Це знижує якість балансування ротора, особливо при малих і середніх дисбалансах. Крім того, під час пуску і вибігу ротора КВ вносять додатковий дисбаланс в систему, тому що займають відносно ротора довільне положення. Це робить процеси розгону і вибігу неспокійними.

2. ПАБ, у яких КВ в ustalених рухах обертаються не навколо осі вала ротора, або некласичні автобалансири.

В некласичних ПАБ КВ рухаються навколо точки на повздовжній осі вала ротора, причому цей рух не є обертанням навколо цієї осі [3, 4]. Загальною перевагою таких ПАБ над класичними, є (рис. 4, в): дія на ротор, осі, на які насаджені КВ і т.п. із силами, які потрібні для зрівноваження дисбалансу, що забезпечує більшу точність зрівноваження ротора, особливо при невеликих дисбалансах; у вертикально розташованих роторах на малих швидкостях обертання ротора КВ під дією сил ваги приходять у нейтральне положення - положення, у якому центр мас КВ знаходиться на осі вала ротора і вони не вносять додатковий дисбаланс у систему, що забезпечує спокійний розгін і вибіг ротора.

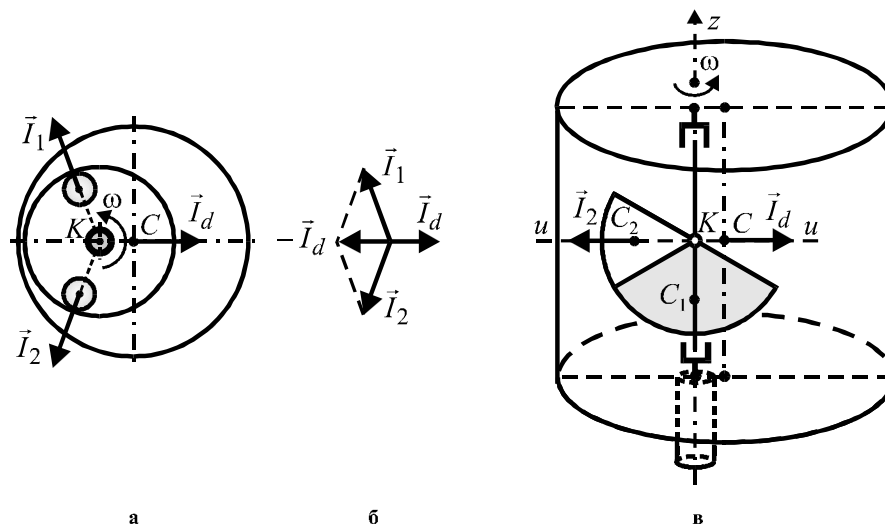


Рис. 4 Зрівноваження дисбалансу класичним (а, б) і некласичним (в) КВ

Масо-інерційні характеристики некласичних КВ повинні задовольняти наступній умові відносно головних осей x , y , z , які виходять із точки K , навколо якої рухається КВ (рис. 5).

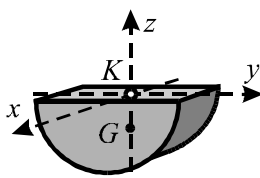


Рис. 5

$$J_x = A, \quad J_y = J_z = B,$$

$$I_G = (0, 0, -l), \quad l = |KG|, \quad (1)$$

де J_x, J_y, J_z - головні осьові моменти інерції КВ,

l_G - радіус-вектор центра мас КВ,

l - відстань від точки K до центра мас КВ - точки G .

На рис. 6 наведені приклади некласичних КВ.

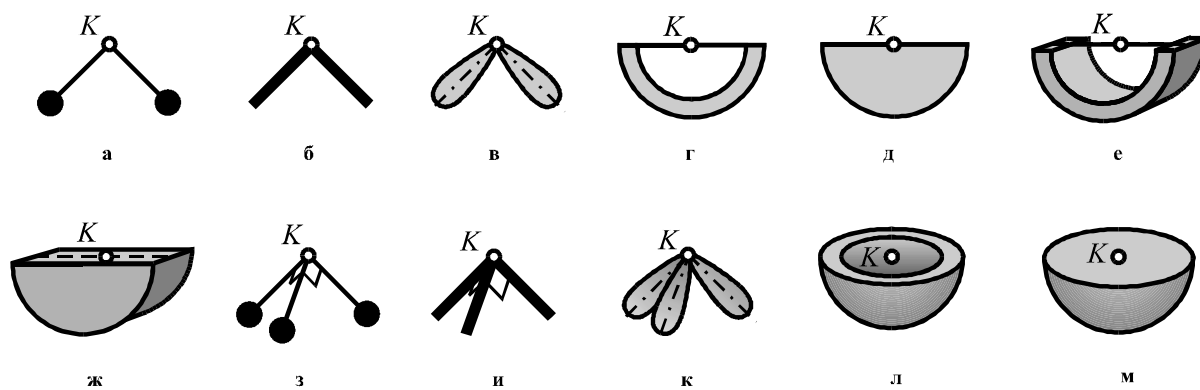


Рис. 6 Некласичні КВ у яких $A \neq B$ - (а-ж), і $A=B$ - (з-м):

а - два з'єднаних під прямим кутом маятника, б - стержня, в - фізичних маятника; г - півкільце; д - напівкруг;
 е - напівциліндр полий, ж - суцільний; з - три з'єднаних під прямим кутом маятника, и - стержня, к - тіла обертання;
 л - напівсфера; м - півкуля.

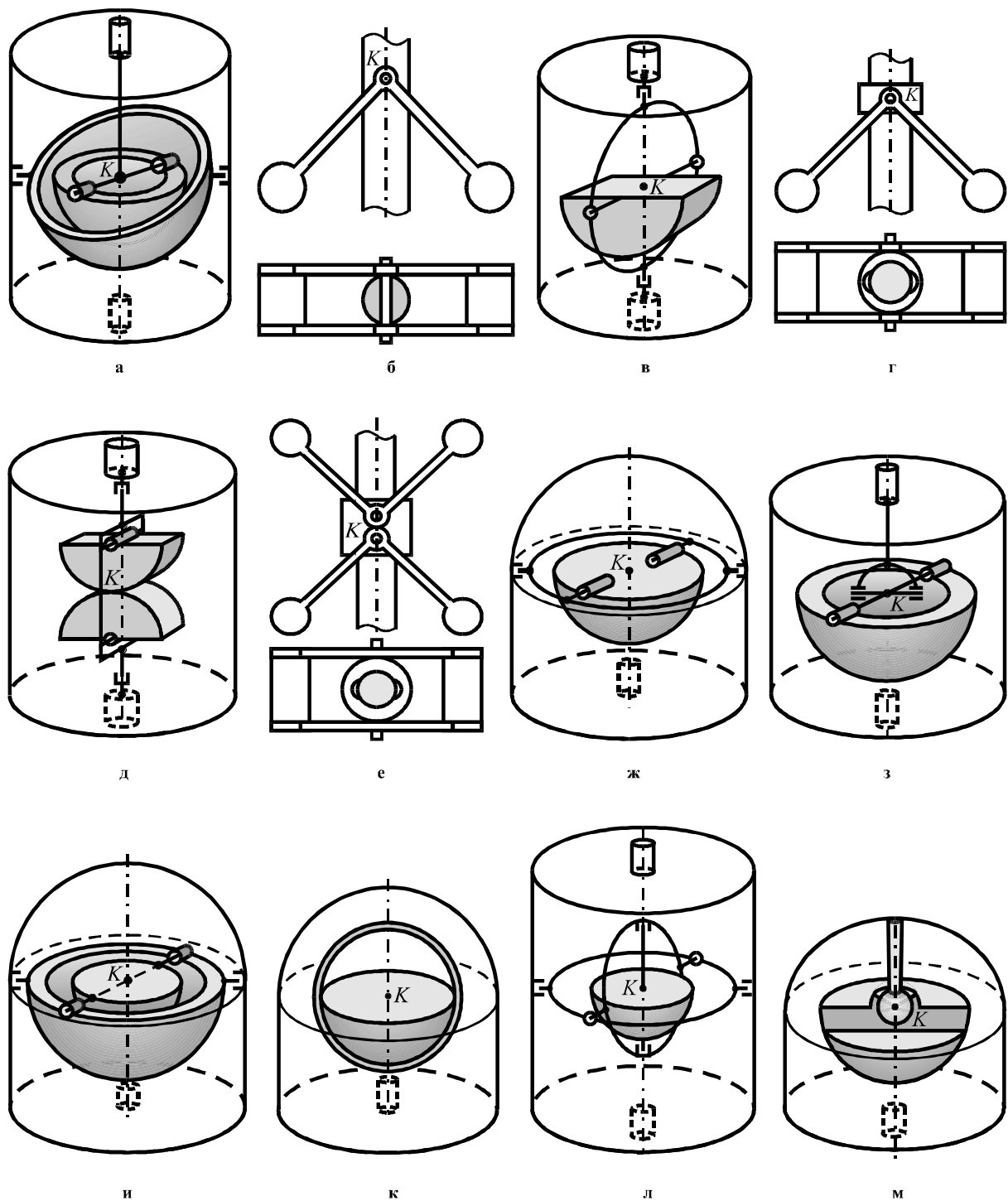


Рис. 7 Некласичні ПАБ, у яких KB повертаються навколо:

а, б – поперечних осей ротора;

в, г – поперечних і повздовжньої осі вала ротора;

д, е – поперечних і повздовжньої осі вала ротора, з вязями;

ж, и – двох осей, які не є віссю вала ротора;

к-м – точки на осі вала, здійснюючі сферичний рух (автобалансири-демпфери)

KB у вигляді суцільного напівциліндра (рис. 6ж), або півкулі (рис. 6м) мають, у порівнянні з габаритними розмірами, найбільшу балансувальну ємність, але вони найменше чутливі до відхилення

вала від осі обертання, а значить і до дисбалансу. КВ у вигляді двох чи трьох з'єднаних під прямим кутом маятників (рис. 6а, з) мають протилежні властивості.

2.1. ПАБ, у яких КВ повертаються навколо поперечних осей ротора.

В [5, 6] описані конструкції ПАБ, у яких КВ повертаються навколо поперечних осей вала ротора. На рис. 7, а, б зображені приклади пристроїв. ПАБ містить два КВ, насаджених на поперечні осі вала ротора. Один КВ зрівноважує дисбаланс в одному напрямку, а другий - у перпендикулярному по відношенню до першого напрямку.

Такі ПАБ мають додаткову перевагу - КВ в них синхронно обертаються разом з ротором, що робить їх нечутливими до зміни кутової швидкості обертання ротора і значно прискорює процес балансування. Недоліком пристрою є те, що він зрівноважує різні за величиною найбільші дисбаланси в залежності від їх напрямків. Крім того, наявність двох КВ збільшує габаритні розміри пристроїв і ускладнює їх конструкцію.

2.2. ПАБ, у яких КВ повертаються навколо поперечних і повздовжньої осі вала ротора.

В [6-8] описані конструкції ПАБ, у яких КВ повертаються навколо поперечних і повздовжньої осі вала ротора. На рис. 7, в-е зображені приклади пристроїв. В пристроях, зображених на рис. 7, д, е встановлені два однакових КВ і на їх рухи накладені в'язі, що дозволяють повертатися КВ на рівні кути у протилежні боки. Таки пристрої не чутливі до сил ваги.

Перевагою пристроїв, зображених на рис. 7, в, г - є те, що дисбаланс ротора зрівноважує один КВ, що спрощує конструкцію пристроїв. Перевагою пристроїв, зображених на рис. 7, д, е - є нечутливість КВ до сил ваги, що збільшує точність зрівноваження ротора особливо на невеликих швидкостях обертання ротора. Недоліком пристроїв є те, що при зміні напрямку невеликого дисбалансу (наприклад на 90^0) КВ вимушені повертатися на такий самий кут. Це зменшує точність зрівноваження ротора при невеликих дисбалансах.

2.3. ПАБ, у яких КВ повертаються навколо двох осей, які не є віссю вала ротора.

В [9] описані конструкції ПАБ, у яких КВ обертаються навколо двох осей, які не є віссю вала ротора. На рис. 7, е, ж зображені приклади пристроїв. ПАБ має один КВ.

Перевагами таких ПАБ є те, що: дисбаланс у одній площині корекції зрівноважує один КВ; при зміні напрямку невеликого дисбалансу КВ повертається відносно точки на осі вала ротора на невеликий кут; КВ майже не чутливі до зміни кутової швидкості обертання ротора. Недоліком пристроїв є відносна складність виконання підвісу КВ.

2.4. ПАБ, у яких КВ здійснюють сферичний рух навколо точки на осі вала, або ПАБ-демпфери.

В [10, 11] описані конструкції ПАБ, у яких КВ здійснюють сферичний рух навколо точки на осі вала ротора. Вони названі автобалансирами-демпферами, оскільки такі пристрої здатні не тільки зрівноважувати ротор, а і демпфувати його кутові вібрації. На рис. 7, з-к зображені приклади пристроїв. ПАБ-демпфер має один КВ.

Перевагами ПАБ-демпферів є те, що: дисбаланс у одній площині корекції зрівноважує один КВ; при зміні напрямку невеликого дисбалансу КВ повертається відносно точки на осі вала ротора на невеликий кут; пристрій здатний демпфувати кутові вібрації ротора, викликані збуреннями різного походження; у найменшому об'ємі можна досягнути найбільшу балансувальну сміність. Недоліком ПАБ-

демпферів є складність виконання карданового підвісу чи сферичного шарніру, чи значний вплив сил сухого тертя на рух КВ у випадку заключення КВ усередину сфери.

Висновки.

1. ПАБ з твердими КВ розрізняються видом руху КВ в усталених рухах відносно вала ротора;
2. В так званих класичних ПАБ КВ в усталених рухах повертаються навколо осі вала і тип пристрою визначає КВ, який в ньому використовується.
3. В некласичних ПАБ КВ обертаються навколо точки на повздовжній осі вала ротора і цей рух не зводиться до обертання навколо цієї осі, причому ознакою, яка характеризує тип пристрою, є вид руху КВ.
4. Загальною перевагою некласичних ПАБ над класичними є дія КВ на вал, ротор і т.п. із силою, яка потрібна для зрівноваження дисбалансу, що забезпечує більшу якість балансування ротора.

Література

1. Гусаров А.А., Сусанин В.И. и др. Автоматическая балансировка роторов машин. М.: "Наука", 1979, 151 с.
2. Fesca Albert Improvement in Centrifugal Machines for Draining Sugar //Patent US 125036, patented 26.03.1872.
3. Филимоныхин Г.Б. Уравновешивание ротора корректирующим грузом с неподвижной точкой на оси вала // Загальнодержавний міжвідомчий н.-т. збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин". -2000. Вип.№29. - С.105-109.
4. Філімоніхін Г.Б. Условия уравновешивания ротора абсолютно твердым телом с неподвижной точкой на оси вала // Доп. НАН України. 2001. -№ 1. -С.66-70.
5. Філімоніхін Г.Б. Автобалансирующий пристрій / Патент України № 36294 А по кл. G 01 М 1/38, - 2001, Бюл.№3.
6. Филимоныхин Г.Б. Про можливість зрівноваження ротора зв'язаними маятниками, насадженими на осі, перпендикулярні валу ротора // Загальнодержавний міжвідомчий н.-т. збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин". -1999. Вип.№27. -С.173-176.
7. Філімоніхін Г.Б., Невдаха Ю.А. Зменшення чутливості автобалансирів до сил ваги шляхом накладання в'язей // Збірник наукових праць КДТУ, -2000. Вип.№6, С.76-77.
8. Філімоніхін Г.Б., Невдаха Ю.А. Автобалансирующий пристрій / Патент України № 40768 А по кл. G 01 М 1/38, -2001, Бюл.№7.
9. Філімоніхін Г.Б. Автобалансирующий пристрій / Патент України № 36244 А по кл. G 01 М 1/38, - 2001, Бюл.№3.
10. Філімоніхін Г.Б., Сотніков В.С. Автобалансири-демпфери із сферичним рухом корегуючих мас // Збірник наукових праць КДТУ. -2000. Вип. 6, С. 73-75.
11. Сотніков В.С., Філімоніхін Г.Б. Автобалансирующий пристрій / Патент України № 40768 А по кл. G 01 М 1/38, -2001, Бюл.№7.